

MODEL LINEAR SISTEM TENAGA LISTRIK PLTMH UMM

Ermanu A.Hakim, Nur Kasan, Nurhadi

Jurusan Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang

Kontak Person:

Ermanu Azizul Hakim

Jl Raya Tlogomas 246 Malang, 0341-464318

E-mail: ermanu.ahakim@gmail

Abstrak

Dalam makalah ini diuraikan mengenai model linear sistem tenaga listrik PLTMH UMM. Tujuan dari model linear adalah memberikan alternatif bagi penanganan stabilisasi sistem tenaga listrik PLTMH (Pembangkit listrik Mikrohidro) UMM secara optimal untuk mengurangi kehilangan energi diakibatkan perubahan kecil sistem (small perturbation stability) dan perubahan besar (large perturbation stability). Kegagalan penanganan stabilisasi sistem tenaga listrik PLTMH UMM akan menyebabkan kehilangan keseimbangan antara mesin generator PLTMH dan beban serta hilangnya sinkronisasi dengan PLN. Kehilangan keseimbangan ini akan berakibat terjadinya black out (mesin listrik mati tak dikehendaki). Metode yang digunakan untuk mencapai model linear adalah diawali dengan melakukan pengukuran berbagai parameter sistem tenaga listrik PLTMH UMM. Diantaranya melakukan pengukuran parameter Penstok & Turbin, Sistem Eksitasi, Generator dan Beban. Model linear sistem tenaga listrik PLTMH UMM ditentukan berdasarkan dinamika sistem dan menentukan kondisi awal sistem. Kondisi awal sistem digunakan untuk menentukan parameter sistem tenaga listrik.

Kata kunci: Pembangkit Listrik Mikrohidro, Model Linier, dan Stabilitas Sistem

1. Pendahuluan

Dalam pengoperasian sebuah sistem pembangkit tenaga listrik seperti pembangkit listrik mikrohidro (PLTMH), energi yang masuk pada penggerak awal (Turbin) dan beban listrik sistem selalu diusahakan seimbang. Pada keadaan tertentu, keseimbangan ini bisa berubah meskipun tingkat perubahannya cukup kecil. Hal ini disebabkan akibat adanya penambahan atau pengurangan beban pelanggan atau pemakai. Bila keseimbangan tak terjaga, maka mesin (generator) akan mengalami kehilangan keseimbangan dan berosilasi sehingga kecepatan sistem (frekuensi sistem) dan tegangan sistem akan menyimpang dari keadaan normal. Tegangan yang menyimpang akan menyebabkan berkurangnya energi.

Menurut Kundur [1], kemampuan sistem untuk tetap menjaga keserempakan pada mesin-mesin agar tetap seimbang, sistem dikatakan dalam keadaan stabil dan sebaliknya bila mesin-mesin hilang keserempakkannya maka sistem dalam keadaan tak stabil dan sistem akan mengalami osilasi.

Diantara upaya untuk menjaga sistem tenaga listrik PLTMH tetap dalam keadaan stabil adalah melalui pemasangan *power system stabilizer* (PSS). PSS adalah piranti yang menyediakan sinyal tambahan bagi sistem eksitasi pada mesin generator. PSS telah digunakan secara luas di berbagai pembangkit listrik saat ini. Sejumlah PSS modern melalui berbagai pendekatan telah dilakukan [El Hawary [2]. Namun, untuk memasang PSS bagi PLTMH diperlukan model bagi sistem tenaga listrik.

Oleh karena itu sangat perlu mengembangkan model linear sistem tenaga listrik PLTMH UMM untuk menangani stabilitas sistem tenaga listrik yang berasal dari PLTMH UMM.

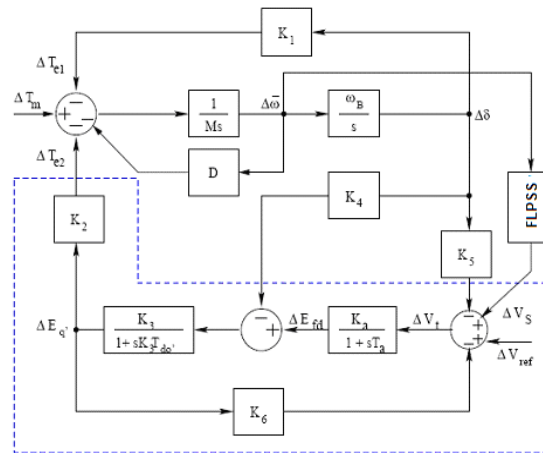
Model Linear Sistem Tenaga Listrik

Untuk keperluan menangani stabilitas sinyal-kecil akibat perubahan beban kecil pada PLTMH serta keperluan perancangan PSS, maka model linear sistem tenaga listrik biasanya dianggap sudah cukup memadai untuk menggambarkan sistem tenaga listrik dengan bermacam-macam komponennya.

Anderson [3] dan Kundur [1] menyatakan bahwa dalam mengembangkan model dinamik sistem (model stabilitas klasik), asumsi yang digunakan biasanya dibuat sebagai berikut :

- Masukan daya mekanik adalah konstan
- Peredaman daya asinkron diabaikan
- Model reaktansi-transien-belakang-tegangan-konstan untuk mesin
- Sudut rotor mekanik sama dengan sudut tegangan belakang reaktansi transien
- Beban digambarkan dengan impedansi pasif

Sementara itu hasil pemodelan dinamik sistem tenaga listrik yang umum telah dilakukan Demello and Concordia [4] dan Larsen and D Swann [5] serta telah menjadi model utama para peneliti termasuk **Ermanu**[6,7]. Model linear sistem diperlihatkan Gambar 1.



Gambar 1. Model Linear Sistem Tenaga Listrik

Dengan konstanta parameter sistem :

$$\begin{aligned}
 K_1 &= \frac{E_a}{(x_e + x_q)} \left[E_{q0} \cos \delta_0 + E_b \frac{(x_q - x'_d)}{(x_e + x'_d)} \sin^2 \delta_0 \right] & K_2 &= \frac{E_b \sin \delta_0}{(x_e + x'_d)} \\
 K_3 &= \frac{x_e + x'_d}{x_e + x_d} \\
 K_4 &= \frac{(x_e - x'_d)}{(x_e + x'_d)} E_b \sin \delta_0 \\
 K_5 &= -\frac{E_b}{v_{t0}} \left[\frac{x_q v_{d0} \cos \delta_0}{(x_e + x_q)} + \frac{x'_d v_{q0} \sin \delta_0}{(x_e + x'_d)} \right] \\
 K_6 &= \frac{v_{q0}}{v_{t0}} \frac{x_e}{(x_e + x'_d)}
 \end{aligned} \tag{1}$$

2. Metode Penelitian

Dalam metode penelitian difokuskan mendapatkan model linear sistem tenaga listrik PLTMH UMM. Untuk itu tahapan yang dilakukan adalah uji komponen PLTMH, pemodelan komponen sistem diantaranya pemodelan penstok, pemodelan turbin, dan generator. Pemodelan komponen-komponen ini dilanjutkan analisis aliran beban dan pemodelan linear sistem dan studi stabilitas sistem PLTMH.

Dalam menentukan komponen akan dilakukan :

1. Pengukuran parameter penstok dan tinggi jatuh air terjun
2. Penentuan parameter Turbin
3. Penentuan parameter Generator
4. Penentuan parameter beban listrik

Sedangkan analisis aliran beban dilakukan untuk mendapatkan berbagai titik operasi saat empat kondisi beban : normal, leading, berat dan lagging.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian pada tahapan untuk menentukan model sistem untuk menentukan berbagai parameter sistem tenaga listrik PLTMH dilakukan sebagai berikut. Dalam tahap penelitian pertama yang difokuskan untuk mendapatkan model linear sistem tenaga listrik PLTMH UMM. Untuk itu tahapan yang dilakukan adalah mengukur komponen-komponen PLTMH yaitu pemodelan komponen sistem diantaranya pemodelan Penstok, pemodelan Turbin, dan Generator. Pemodelan komponen-komponen ini dilanjutkan analisis aliran beban dan pemodelan linear sistem dan studi stabilitas sistem PLTMH.

Hasil pengukuran komponen

Pengukuran parameter penstock dan tinggi jatuh air terjun

Volume air pada bak penampung :

Panjang saluran $p = 9,66$ meter

Lebar saluran $l = 6$ meter

Tinggi saluran $t = 5$ meter (efektif 4,7 meter)

Parameter Penstock :

Ketinggian penstock (*head*) $H = 20$ meter

Gravitasi $g = 9,8$ m/det

Panjang Penstock $L = 56,2$ meter

Koefisien kekasaran pipa menurut Manning $n = 0,013$

Diameter penstock $D = 0,7$

jari-jari $r = 0,35$ meter

Perhitungan matematik dibawah ini akan menghitung volume air pada bak penenang, kecepatan air dalam *penstock*, luas penampang pipa, kapasitas aliran/debit air dalam pipa, massa air dalam pipa, daya pada turbin, waktu awal air, dan perubahan kenaikan tekanan pada *gate* turbin.

Volume air pada bak penenang (V) :

$$V = p.l.t = 9,66.6.4,7 = 272,41 \text{ m}^3$$

Sedangkan Kecepatan air dalam penstock dapat dihitung sebagai berikut

$$\alpha_M = \frac{n^2.124}{D.\sqrt[3]{0,7}} = \frac{0,013^2.124}{0,7.\sqrt[3]{0,7}} = 0,033$$

$$U = \sqrt{\frac{H.2g}{\alpha_M.L}} = \sqrt{\frac{20.2.9,8}{0,033.56,2}} = 14,53 \text{ m/det}$$

Sedangkan luas penampang pipa (A) dan massa air dalam pipa sebagai berikut

$$A = \pi.r^2 = \pi 0,35^2 = 0,38 \text{ m}^2$$

untuk massa Air dalam pipa dihitung sebagai berikut

$$m = \rho LA = 1000.56,2.0,38 = 21356 \text{ kg}$$

Sedangkan Waktu awal air (T_w) diperoleh

$$T_w = \frac{LU}{a_g H} = \frac{56,2.14,53}{9,8.20} = 4,16 \text{ det}$$

sementara itu perubahan kenaikan tekanan pada *gate* turbin :

$$\Delta P = \rho g \Delta H = 1000.9,8.5 = 49000 \text{ kg/det}^2$$

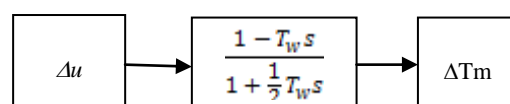
Dari perhitungan diatas serta pengukuran yang telah dilakukan di PLTMH, data-data untuk parameter turbin diperoleh seperti pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1 Parameter untuk turbin beserta nilainya

Parameter	Simbol	Satuan
Kecepatan air di pipa	U	14,53 (m/s)
Posisi <i>Gate</i>	G	45 % (Pu)
Daya Turbin	P	80 kWatt
Kapasitas aliran (Debit)	Q	1 m ³ /s
Massa air dalam pipa	ρ	21.356kg
Perub. kenaikan tekanan pada gate turbin	$\rho g \Delta H$	49.000kg/s ²
Waktu	T_w	4,16 s

Dari perhitungan yang telah di peroleh, maka kita dapat melakukan analisis performansi model Penstok dan Turbin PLTMH dengan Simulink MATLAB. Untuk keperluan menguji tanggapan sistem digunakan sinyal masukan unit step dengan asumsi aliran air masuk Penstok berupa aliran tetap.

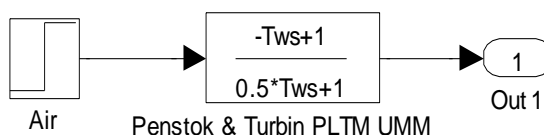
Blok diagram sistem untuk simulasi MATLAB digambarkan sebagaimana Gambar 2.



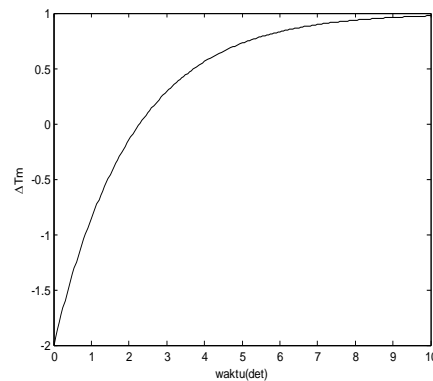
Gambar 2. Diagram Blok untuk Sistem Turbin

Tanggapan Sistem Penstok dan Turbin

Dengan menggunakan simulink, model linear sistem Penstok dan Turbin yang diperlihatkan Gambar 2 ditetapkan dengan $T_w = 4,16$ detik hasil perhitungan Tabel 1 diimplementasikan dalam bentuk model simulink sebagaimana diperlihatkan pada blok diagram Simulink Gambar 3 dibawah ini.

Gambar 3. Diagram Blok Simulink Penstok & Turbin dengan *input step*

Hasil simulasi diagram blok Gambar 3 menghasilkan tanggapan sistem (keluaran) berupa perubahan torsi mekanik turbin sinyal sebagaimana diperlihatkan Gambar 4. Terlihat pada gambar 4 bahwa tanggapan sistem berupa eksponensial. Dari hasil simulasi sebagaimana diperlihatkan gambar 4 diatas dapat ditentukan beberapa parameter karakteristik sistem penstok & Turbin diantaranya Konstanta Waktu (*time constant*) dan waktu naik (*rise time*). Pada gambar 4 menunjukkan besarnya konstanta waktu sebesar 10 detik dan besarnya waktu naik yaitu waktu yang diperlukan untuk sistem untuk naik sebesar 90% atau 0,9 diperoleh sebesar 7,5 detik. Makna dari tanggapan ini bahwa saat terjadi perubahan masukan aliran air secara tiba-tiba maka perubahan torsi akan menanggapi secara eksponensial naik mencapai mantap 10 detik kemudian.

Gambar 4. Tanggapan Perubahan Torsi Mekanik Turbin ΔT_m untuk masukan *unit step*

Penentuan Kondisi Awal dan Parameter Sistem Generator PLTMH

Berdasarkan data parameter mesin dan saluran tenaga listrik yang diambil dari data sheet PLTMH UMM diperoleh data parameter mesin dan saluran sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4. Semua data parameter yang diberikan dalam *pu* kecuali H dan konstanta waktu dalam detik.

Tabel 2. Parameter Generator PLTMH UMM (UCI274F)

No.	Parameter	Nilai
1	Rating Daya (kVA)	160
2	Faktor daya	0.8
3	Frekuensi (Hz)	50
4	Speed (RPM)	1500
5	H	4 detik
6	T_{do}'	0,9 detik
7	X_d	2,24
8	X_d'	0,19
9	X_q	1,38

Tabel 3. Sistem Eksitasi (SX460 AVR Standard)

No.	Parameter	Nilai
1	K_a	1/10/100/400
2	T_a	0,004

Tabel 4 Saluran Transmisi

No.	Parameter	Nilai
1	X_e	0,156
2	R_e	0,176

Data parameter pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4 diatas digunakan untuk mendapatkan kondisi awal dari model linear sistem tenaga listrik mesin tunggal PLTMH. Hasil perhitungan kondisi awal arus dan tegangan untuk berbagai kondisi beban diperlihatkan dalam Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Perhitungan Kondisi Awal Sistem PLTMH UMM

Kondisi Beban	I_{a0}	ψ_0	E_{q0}	δ_0	I_{d0}	I_{q0}	V_{d0}	V_{q0}
Normal	0.7744	-33.6901	2.1792	24.0805	-0.6551	0.4130	-0.8459	0.5333
Leading	0.4584	9.4623	1.3730	27.0316	-0.1384	0.4370	-0.2868	0.9057
Berat	0.8264	-17.6501	2.0537	31.9497	-0.6293	0.5356	-0.7615	0.6481
Lagging	0.6721	-17.6223	1.8347	28.8028	-0.4869	0.4633	-0.6883	0.6548

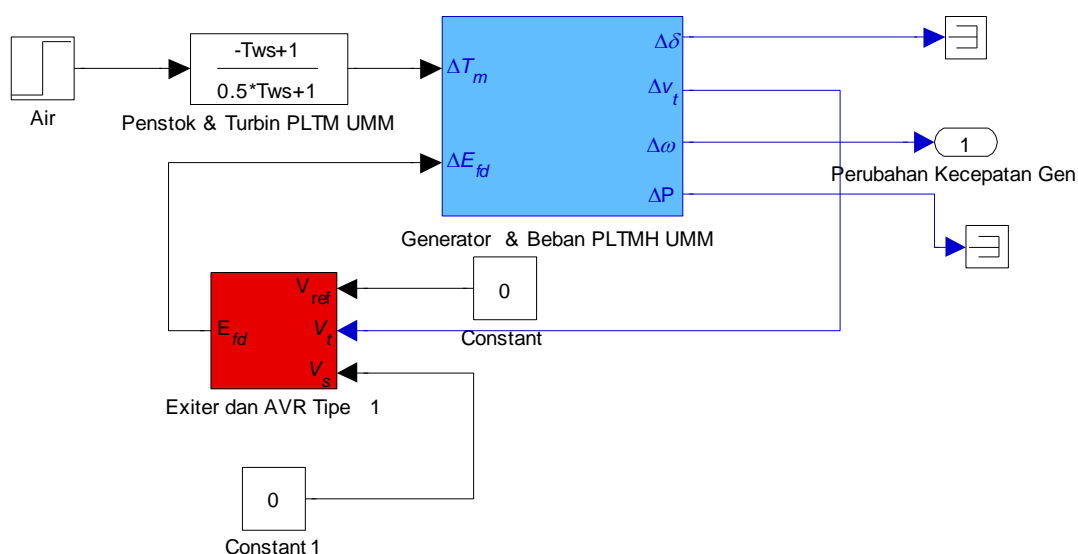
Hasil perhitungan data kondisi awal pada Tabel 5 digunakan untuk mendapatkan parameter sistem K_1 , K_2 , K_3 , K_4 , K_5 , dan K_6 untuk berbagai kondisi beban. Hasil perhitungan parameter sistem ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Parameter Sistem (K_1 sampai K_6) PLTMH UMM

Kondisi Beban	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6
Normal	1.3421	1.1734	0.1444	2.4054	0.5715	0.2405
Leading	0.8583	1.3070	0.1444	2.6793	0.0036	0.4298
Berat	1.2185	1.5218	0.1444	3.1196	0.3902	0.2922
Lagging	1.1158	1.3855	0.1444	2.8403	0.3861	0.3108

Untuk memperoleh keseluruhan model sistem tenaga listrik PLTMH dilakukan penggabungan model Penstok & Turbin, Generator dan Sistem eksitasi dan diperoleh model lengkap dari Model Linear Sistem Tenaga Listrik PLTMH sebagaimana ditunjukkan Gambar 5.

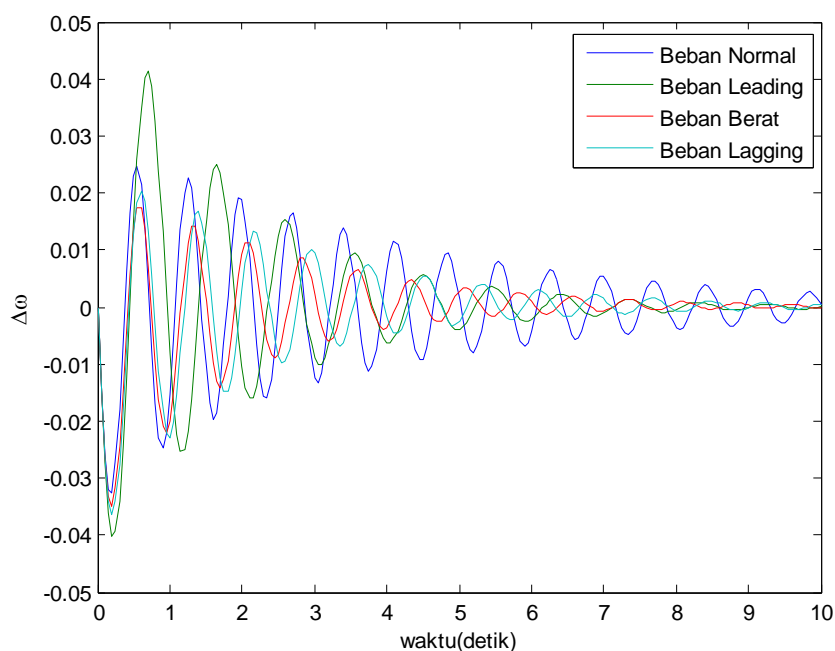
Model Linear PLTMH UMM



Gambar 5. Model Linear Sistem Tenaga Listrik PLTMH UMM

Hasil dan Pembahasan Tanggapan sistem

Dengan menguji sistem Gambar 5 berupa masukan unit step untuk berbagai kondisi beban diperoleh tanggapan sistem sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Tanggapan perubahan kecepatan putar Generator PLTMH UMM untuk berbagai kondisi beban

Hasil simulasi menunjukkan bahwa semua Tanggapan perubahan kecepatan putar sistem tenaga listrik PLTMH UMM beresilasi sinusoida teredam dan berlaku untuk semua kondisi beban sistem. Tanggapan seperti ini tentu saja tidak diharapkan karena akan berakibat dengan kehilangan energi kinetik sistem. Perubahan kecepatan putar generator seperti ditunjukkan Gambar 6 dapat menyebabkan kegagalan Generator mencatu daya listrik sehingga berakibat mati generator. Dilapangan juga menunjukkan bahwa masalah yang muncul adalah sering matinya Generator. Pada Tabel 7 menunjukkan Nilai Objektif yang menggambarkan indeks performansi yang juga menggambarkan hilangnya energi memiliki nilai yang cukup besar. Indeks performansi ini terbaik bila mendekati nol.

Tabel 7. Nilai Objektif untuk berbagai kondisi beban PLTMH

Kondisi Beban	P (p.u)	Q (p.u)	V_t	Fungsi obj
Normal	$P_1 = 0,9$	$Q_1 = 0,2907$	$V_{t1} = 1.0$	4.4891
Leading	$P_2 = 0,6$	$Q_2 = -0,1$	$V_{t1} = 0.95$	2.5360
Berat	$P_3 = 1,1$	$Q_3 = 0,35$	$V_{t3} = 1.0$	1.7073
Lagging	$P_4 = 0,85$	$Q_4 = 0,27$	$V_{t4} = 0,95$	2.1573

4. Kesimpulan

Di dalam hasil penelitian telah dilakukan pengukuran berbagai parameter dan data sistem tenaga listrik PLTMH UMM. Parameter dan data ini digunakan untuk memperoleh model linear sistem tenaga listrik PLTMH UMM. Model sistem telah dibangun dan dibuat menggunakan Simulink. Model sistem terdiri atas model Penstock & Turbin, Model Generator dan beban serta model eksitasi. Model linear ini dikembangkan untuk menemukan strategi stabilisasi sistem tenaga listrik yang cocok PLTMH UMM.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan

1. Model linear Penstok dan Turbin sebagai komponen sistem tenaga listrik PLTMH memiliki tanggapan atau respon perubahan torsi mekanik naik secara eksponensial dengan waktu naik sebesar 10 detik
2. Tanggapan perubahan kecepatan Generator pada sistem tenaga listrik PLTMH UMM berosilasi saat mendapat masukan unit step untuk berbagai kondisi beban. Osilasi ini sangat tidak diharapkan dan sangat berpengaruh terhadap kinerja pencatutan daya listrik yang dihasilkan PLTMH UMM.
3. Indeks performans yang menjadi ukuran kehilangan energi juga menunjukkan nilai yang cukup besar yang seharusnya mendekati nol. Indeks performansi ini juga diujikan untuk semua kondisi beban.

Referensi

- [1] Prabha Kundur. (1994). "Power System Stability and Control". McGraw-Hill, New York, Ch.12. pp.817-822.
- [2] El-Hawary. M. (1998), *Electric Power Applications of Fuzzy Systems*, IEEE Press, New York
- [3] Anderson, P.M. & A.A Fouad, 1977, *Power System Control And Stability*, The Iowa State University Press, Iowa
- [4] F.P. Demello and C. Concordia. (1968). "Concept of synchronous machine stability as affected by excitation control", *IEEE Trans. PAS* Vol. 88, 1969, pp 316-329.
- [5] Larsen and D. A. Swann. (1981). "Applying Power System Stabilizers". Part I- III, *IEEE Trans. PAS* Vol. 100. no 6. pp 3017-3046.
- [6] Ermanu, A. Hakim, Adi S, Mauridhi HP, 2005 "Perancangan PSS Fuzzy PID Untuk Stabilisasi Sistem Tenaga Listrik", SMED 2005, Malang, Desember
- [7] Ermanu, A. Hakim, Adi S, Mauridhi HP, "Perancangan PSS berbasis Fuzzy PID Tertala Algoritma Genetika", Proceedings Industrial Electronic Seminar 2006, EEPIS-ITS, Surabaya, Nopember, 2006